

INTERACCIONES BIOLÓGICAS: EL ROL DE LA COMUNICACIÓN QUÍMICA ENTRE PECES Y MICROCRUSTÁCEOS

MARÍA FLORENCIA GUTIÉRREZ

Becaria CONICET. Laboratorio de Zooplancton. Instituto Nacional de Limnología (CONICET- UNL). Ciudad Universitaria, (CP 3000) Santa Fe, Argentina. E-mail: flogutigierrez@hotmail.com

93

Resumen - La comunicación constituye una parte fundamental de la historia de todo ser vivo. En los ecosistemas acuáticos, la “comunicación química” (mediante la liberación y detección de sustancias llamadas infoquímicos) posee un rol protagónico, capaz de modificar las estrategias de los organismos para sobrevivir con éxito. Esto les permite dejar descendencia y mantener poblaciones estables en el ecosistema, a largo plazo. Un estudio en el laboratorio evalúa, en el contexto de las interacciones “depredador- presa”, la capacidad de detección y estrategias adquiridas por copépodos (pequeños crustáceos de agua dulce) ante a la presencia de comunicadores químicos de peces. Los ajustes de estos organismos a lo largo del desarrollo demuestran la importancia de la comunicación química y su rol como fuerza selectiva en los ambientes acuáticos naturales.

La necesidad de permanecer en un ambiente, alimentarse, perpetuar y crecer implicó en todos los organismos, incluido el hombre, adquirir a lo largo de la evolución diversas formas de comunicación tanto con organismos de la misma especie como con el resto de los grupos biológicos. Así, la comunicación forma parte de la historia de todo ser vivo, tan importante, que ningún individuo sería capaz de sobrevivir sin interactuar de algún modo con el medio que lo rodea.

Entre los animales terrestres, las estrategias y mecanismos de comunicación son más intensamente estudiadas y difundidas que en otros grupos (Brönmark y Hansson, 2000). En ellos, es muy sencillo reconocer que las señales táctiles y visuales no son las únicas que median las interacciones. La audición y el olfato constituyen sentidos muy importantes y altamente eficaces tanto a nivel intra como interespecífico, siendo los mamíferos el ejemplo por excelencia. Sin embargo, en los ecosistemas acuáticos, estas últimas formas de comunicación son menos obvias y, por lo tanto, de mayor complejidad a la hora de ser estudiadas.

Durante los últimos años, numerosos científicos han llevado a cabo prolongadas investigaciones en diversos organismos acuáticos tratando de interpretar las estrategias adquiridas para sobrevivir con éxito y dejar descendencia en estos ambientes. Curiosamente, la “comunicación química” mostró tener un rol protagónico en este proceso, de la misma manera que el olfato lo tiene para los mamíferos.

Este tipo de comunicación se realiza mediante la liberación (por parte del organismo emisor) de sustancias químicas con valor informativo, comúnmente llamados *infoquímicos*. La producción de estas sustancias puede generarse en células especializadas para tal fin, o pueden ser productos de

desecho como la orina o las heces. Se ha demostrado que cuando estos componentes son percibidos por sus pares, presas o depredadores, éstos manifiestan respuestas etológicas o fisiológicas diferentes según sea el caso. Por ejemplo: si un organismo sexualmente apto para reproducirse pudiera reconocer a distancia el “olor” de otro individuo de la misma especie, se facilitaría el encuentro y apareamiento. Detectar la madurez sexual de una hembra en el momento justo sería



Figura 1. Hembra adulta de *Notodiaptomus conifer* llevando el saco ovífero



Figura 2. Macho adulto de *Notodiaptomus conifer*.
Longitud total: 1,5 (\pm 0,05) mm.

ventajoso en términos energéticos para los machos de una gran población. Percibir el “olor” de un posible depredador permitiría escapar mucho más rápidamente, y así se podrían nombrar varios ejemplos más.

Todas estas estrategias favorables, adquiridas a lo largo de la evolución, son las que ofrecen a los organismos acuáticos la capacidad de detectar o reconocer los *infoquímicos* específicos liberados en el agua, actuando como señales de alerta temprana. Mas aún, suelen resultar mucho más favorecidos aquellos organismos que luego de detectarlas, son capaces de desarrollar óptimas estrategias para lograr el mayor beneficio posible para su supervivencia, desarrollo y reproducción (Stearns, 1992). Es por ello y no por casualidad, que estas interacciones, particularmente las que comprometen la vida de los organismos, forman parte de las llamadas “carreras armamentísticas” en el contexto de los procesos co-evolutivos.

SEÑALES DE PELIGRO ENTRE ORGANISMOS DEL PLANCTON: UN ESTUDIO EXPERIMENTAL

En los ecosistemas acuáticos, el zooplancton es una de las comunidades más complejas e impor-

tantes. Son eslabones clave en las redes tróficas y constituyen el principal alimento de peces, larvas de peces y algunos invertebrados acuáticos. Entre sus componentes, los copépodos son uno de los grupos más característicos y abundantes, aunque son los menos estudiados de esta comunidad.

Por ello, a partir de los actuales conocimientos sobre las señales químicas que median las interacciones depredador-presa, surgieron los siguientes interrogantes: ¿Los copépodos son capaces de detectar señales químicas liberadas por sus depredadores, los peces? ¿Cómo lo manifiestan a lo largo de su desarrollo? ¿Qué ventajas les ofrece esta capacidad? ¿Cuál es el límite de sensibilidad de estos pequeños organismos del plancton?

Para intentar responderlos se sometió a una especie endémica y común en nuestra región (*Notodiaptomus conifer*) (figura 1 y 2) a diferentes medios de cultivo conteniendo cinco concentraciones de *agua de peces*. Este medio fue obtenido acondicionando una pecera con agua y 20 madrecitas (*Cnesterodon decemmaculatus*) (figura 3), que fue mantenida en similares condiciones que los copépodos. Desde el momento de la eclosión de los huevos se realizó un seguimiento diario de las características del desarrollo y parámetros reproductivos de los copépodos, mediante lupa binocular y microscopio.

Los resultados indicaron que los organismos fueron capaces de reconocer los *infoquímicos* de los peces, y lo manifestaron con un desarrollo más rápido (figura 4), un menor tamaño corporal al alcanzar el estado adulto y modificaciones en la reproducción (tabla 1).

Estos ajustes a lo largo del ciclo de vida concuerdan con resultados obtenidos por otros autores, quienes encontraron una gran plasticidad fenotípica en cladóceros sometidos a la presencia de comunicadores químicos de peces (Stibor, 1992; Engelmayer, 1995).

Según los aportes de Beckerman *et al.* (2007) la reducción en el tiempo generacional y el tamaño corporal podría ser el resultado de mecanismos fisiológicos que actuaron durante el desarrollo. Estos mecanismos reflejan el patrón de alimentación de los depredadores vertebrados (las madrecitas en el caso que nos ocupa) (Reznick *et al.*, 2002; Riessen, 1999) y determinan la distribución de la energía disponible entre las diferentes actividades y/o estructuras corporales.

En el contexto de algunas hipótesis fisiológicas vigentes (Stearns, 1992) un desarrollo más rápido podría ser beneficioso, en la medida en que conduce a iniciar una reproducción precoz que también determina tiempos generacionales más breves. Esta tendencia registrada para acelerar el tiempo de la

primera fecundación, indica que probablemente los organismos sometidos al *agua de peces* conteniendo el *infoquímico*, frente al riesgo de ser depredados, aceleraron su tiempo generacional utilizando una estrategia que les permitió alcanzar más rápido el estadio adulto y dejar mayor descendencia en el menor tiempo posible.

Considerando el principio de asignación discutido por Sibly y Calow (1986), es probable que esta estrategia esté relacionada con una adecuada “administración” de los recursos energéticos disponibles. En este caso, cuando la presencia de un comunicador químico alertó sobre el peligro de ser consumidos, el óptimo balance fisiológico fue otorgar la mayor parte de los recursos energéticos a un desarrollo más rápido de sus estructuras reproductivas, eso sí, en detrimento de un menor tamaño (Lynch, 1980). Por otra parte, un tamaño corporal pequeño sería en sí mismo una estrategia beneficiosa a la hora de reducir la posibilidad de ser observados e ingeridos por depredadores visuales.

Debido a que la fecundación en los copépodos, al igual que en otros organismos planctónicos está mediada por comunicadores químicos (Yen *et al*, 1991), el bajo porcentaje de hembras fecundadas podría deberse, entre otras causas, a una alteración en la comunicación entre machos y hembras. Sin embargo, hoy se sabe que en los copépodos la copulación es un proceso altamente complejo. Ésta requiere no sólo compatibilidad morfológica sino también etológica, lo que conlleva un elevado gasto energético (Maier, 1995). Gasto que, como se señaló previamente, en una situación de riesgo debe ser eficientemente administrado; y mantener un estado alerta ante la posibilidad de ser consumidos implica, junto con una mayor tasa respiratoria, un enorme gasto energético.

Finalmente, algunos aspectos de la historia de vida fueron dependientes de la concentración del *agua de peces*, porque cuando la concentración del *infoquímico* aumentó, los cambios fueron cada vez más pronunciados. Esto ocurrió por ejemplo, con el tiempo en alcanzar la madurez sexual. Sin embargo, en otros casos, la sola presencia de *agua de peces* fue suficiente para determinar cambios, por ejemplo en el tiempo requerido para producir el primer saco ovífero.

Las sorprendentes estrategias comentadas en estos pequeños crustáceos frente a los *infoquímicos* de los peces, constituyen un ejemplo de la gran importancia de la comunicación química en los ambientes acuáticos naturales. Asimismo demuestran el protagonismo de las interacciones “depredador-presa” como fuerza selectiva, siendo capaces de modificar la estructura y dinámica de las pobla-

Tabla 1. Los parámetros reproductivos (cantidad de hembras ovígeras de la población, número de huevos por hembra y el tiempo de formación del primer saco ovífero) se modificaron con la presencia del “agua de peces” conteniendo el comunicador químico.

Diluciones del “agua de peces” (%)	Hembras Ovígeras (%)	Huevos por hembra (promedio)	Tiempo de formación del saco ovífero (días)
100%	30	2.00 (±3.4) *	5.67(±0.5)*
50%	37.5	3.13 (±4.4)	6.67 (±1.5)
25 %	44.4	4.08 (±4.8)	5.5 (±2.3)*
12.5%	91.66	8.21 (±2.6)	4.46 (±2)*
6.25%	85.71	8.71 (±4.5)	5.83 (±2.2)*
0%	83.3	6.42 (±3.5)	9.9 (±2.3)

ciones y de otros niveles de organización biológica, especialmente cuando las condiciones son adversas (por ejemplo por contaminación) o cuando las fluctuaciones ambientales son muy amplias (resultado del actual cambio climático).

APORTES PARA UNA REFLEXIÓN FINAL

Hoy en día existe un amplio consenso en que las interacciones biológicas mediadas por comunicadores químicos constituyen una de las más eficientes para la mayoría de los seres vivos. Tan asombrosas e intrigantes son las estrategias adquiridas por los organismos interactuantes que actualmente existen numerosas y muy diversas líneas de investigación en torno a esta temática.

Por otra parte, mientras algunos científicos se abocan a estudiar con mayor profundidad y precisión la comunicación entre algunos seres vivos, otras áreas científicas y tecnológicas paralelamente compiten por construir artefactos, que nos permitan transmitir y recibir información, altamente



Figura 3. Ejemplares de *Cnesterodon decemmaculatus* (“madrecitas”) utilizadas para las experiencias en laboratorio. Longitud total: 3,6 (± 0,6) cm.

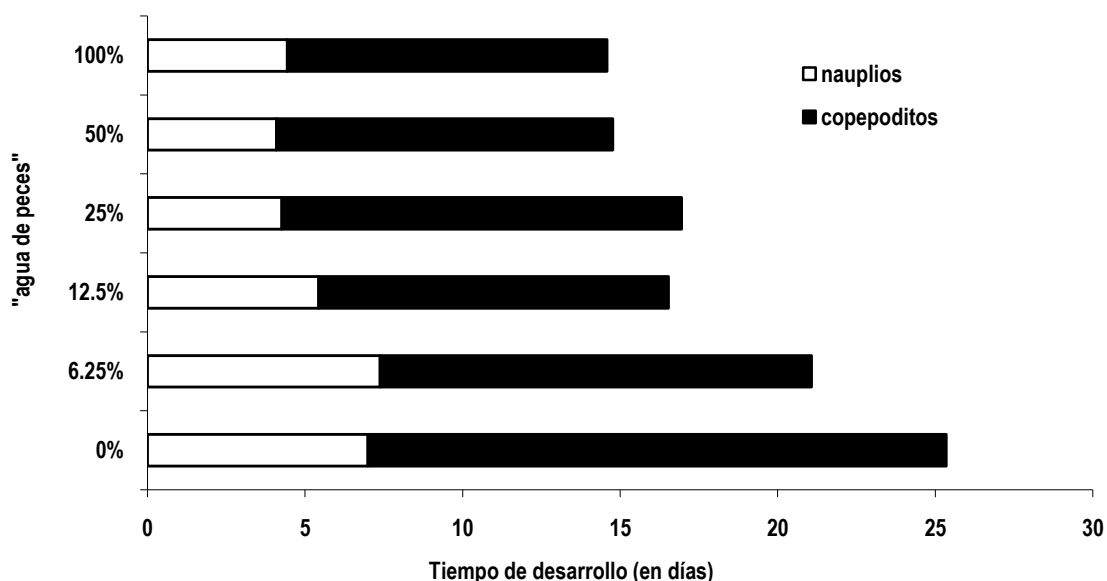


Figura 4. Los copépodos que crecieron en presencia del “agua de peces” tardaron un tiempo menor en desarrollarse. La figura muestra que el tiempo de desarrollo disminuyó con el aumento de las densidades de “agua de peces”.

sofisticados y modernos. Así, paradójicamente, mientras los animales nos asombran con sus mecanismos naturales de interacción, nosotros requerimos medios cada vez más complejos para comunicarnos mejor, sin embargo muchas veces ocurre que nos entendemos menos...

Sería interesante que estos nuevos conocimientos sobre la comunicación natural entre los seres vivos nos aporten una mayor comprensión sobre el equilibrio en la naturaleza. Más aún, nos inviten a reflexionar sobre las propias interacciones no sólo entre los seres humanos, sino también con el mundo vivo que nos rodea.

Agradecimientos

La autora agradece a Andrés Pautasso por su revisión y valiosas sugerencias.

Bibliografía citada

- BECKERMAN AP, KIESKI K & BAIRD DJ (2007) Behavioural versus physiological mediation of life history under predation risk. *Oecologia* 152: 335-343
- BRÖNMARK C Y HANSSON LA (2000) Chemical communication in aquatic systems: an introduction. *Oikos* 88:103-109
- ENGELMAYER A (1995) Effects of predator-released chemicals on some life history parameters of *Daphnia pulex*. *Hydrobiologia* 307 (1-3): 203-206
- LYNCH M (1980) The evolution of cladoceran life histories. *Q. Rev. Biol.* 55:23-42
- MAIER G (1995) Mating frequency and interspecific matings in some freshwater cyclopoid copepods. *Oecologia* 101: 245-250

- REZNICK D, BRYANT MJ & BASHEY F (2002) r- and K-selection revisited: in the role of population regulation in life-history evolution. *Ecology* 83: 1509-1520
- SIBOR H (1992) Predator induced life-history shifts in a freshwater cladoceran. *Oecologia* 92: 162-165
- STEARNS SC (1992) *The evolution of life histories*. Oxford University Press, Oxford, 249 pp
- YEN J, SANDERSON B, STRICKLER, JR & OKUBO A (1991) Feeding currents and energy dissipation by *Euchaeta rimana*, a subtropical copepod. *Limnol Oceanogr* 36: 362-369

Glosario

Co-evolución: cambio evolutivo recíproco que acontece en especies interactuantes y que está mediado por la selección natural.

Endémica: refiere a especies o taxones biológicos que reencuentran restringidos exclusivamente a un determinado territorio o bioma.

Infoquímicos: sustancias que median las interacciones intra e interespecíficas. Provocan diversas respuestas fisiológicas o de comportamiento en los individuos involucrados. Se clasifican en feromonas y aleloquímicos.

Plasticidad fenotípica: refiere a la habilidad de un genotipo de expresar una gama de fenotipos en respuesta a las condiciones del ambiente en que vive.

Respuestas etológicas: respuestas o manifestaciones conductuales.

Tiempo generacional: refiere al tiempo promedio que pasa entre que nace un individuo y nace su descendencia.

Nota: El artículo científico original fue publicado en la revista *Journal of Plankton Research*. Cita completa: GUTIERREZ MF, PAGGI JC & GAGNETEN AM (2010) Fish infochemicals alter life cycle and growth of a calanoid copepod. *Journal of Plankton Research* 32 (1): 47-55